

Análisis de redes en sistemática y biogeografía: ejemplos en co-autoría y simpatría de Ephemeroptera de América del Sur

Eduardo Domínguez¹, Daniel A. Dos Santos² y María del Carmen Zúñiga³

¹ Instituto de Biodiversidad Neotropical, CONICET-Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán, Miguel Lillo 205, 4.000 Tucumán, Argentina. mayfly@unt.edu.ar. ² Instituto de Biodiversidad Neotropical, CONICET-Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán, Miguel Lillo 205, 4.000 Tucumán, Argentina. pseudalopex_79@yahoo.com. ³ Departamento de Biología-Grupo de Investigaciones Entomológicas, Facultad de Ciencias, Universidad del Valle, Cali, Colombia. maczuniga@gmail.com.

Resumen. Se introducen conceptos fundamentales de Teoría de Redes aplicándolos al estudio de relaciones de co-autoría y relaciones espaciales entre especies. Como caso de estudio se utilizaron registros confirmados de presencia y datos bibliográficos sobre especies de Ephemeroptera descriptas en América del Sur. El análisis de la red de co-autoría (inferida a partir de los autores involucrados en su descripción) reveló numerosas comunidades de investigación influenciadas por los factores de especialidad taxonómica y procedencia geográfica. Se destacó además una tendencia en el tiempo a la colaboración entre autores de la región. En el análisis biogeográfico fue posible detectar en la red de simpatría subyacente numerosos grupos de especies co-distribuidas. Al cruzar la información filogenética con la de los patrones geográficos, fue posible descubrir instancias de progresión filogenética en el eje andino y de vicarianza entre Amazonía y la Mata Atlántica.

Palabras clave: Taxonomía, simpatría, co-distribución, vicarianza.

Introducción

Las redes son colecciones de elementos (nodos o vértices) conectados por algunas relaciones de interés (aristas o enlaces). Estas estructuras se presentan en diferentes sistemas (sociales, infraestructuras de transportes, sistemas biológicos, etc.). El estudio de sus patrones de conexión, dentro de un contexto de redes, puede llevar a nuevos y útiles enfoques (Newman 2010), además de servir como usina epistemológica de la cual surgen preguntas creativas de investigación. Considerando que ciertos aspectos del conocimiento sistemático y biogeográfico de las efímeras pueden ser abstraídos en término de redes, con este ejemplo biológico se ilustrarán las potencialidades que tienen para el investigador algunas de las técnicas cuantitativas provistas por la teoría de redes.

El conocimiento de la diversidad de Ephemeroptera (Insecta) de América del Sur está avanzando rápidamente en la actualidad. Como una medida de esto, según los datos aportados por el catálogo más reciente (Domínguez *et al.* 2011), si graficamos el número acumulado de

especies descritas por año, la tendencia resultante puede ajustarse satisfactoriamente con una función exponencial. Nos pareció interesante estudiar procesos ligados a este fenómeno como ser la interacción entre los autores en función de su procedencia y a lo largo del tiempo. Estas relaciones, que reflejan contextos sociales y económicos, toman formas reticuladas, debido a las interacciones complejas entre los diferentes autores. Por esta razón, se consideró que sería interesante realizar un análisis de redes para ver si existía algún patrón de interacción en la red de co-autoría emergente, teniendo en cuenta tanto los países de procedencia de los investigadores como su membresía a diferentes grupos de investigación.

Además del avance en los aspectos sistemáticos (descripción de especies, elaboración de claves, propuesta de filogenias, etc.), se produjo una mejora correlacionada en la compilación de sus datos de distribución, con el rasgo facilitador de estar la mayoría de las localidades resueltas al nivel de punto geográfico gracias a la georeferenciación con GPS. La afinidad distribucional entre especies es otro tipo de relación susceptible de ser estudiada con teoría de redes. Por esta razón, se encaró un estudio distribucional de los diferentes taxones, comparando sus mapas de distribución a los efectos de inferir un conjunto de relaciones espaciales entre ellos. En este caso, la red resultante se compone de taxones conectados por vínculos de simpatría, lo que constituye una red natural en biogeografía. Las distribuciones de los organismos acuáticos, especialmente las de aquellos que habitan ambientes lóticos, presentan características particulares, como ser la de reproducir la naturaleza lineal y divergente de los ríos. Por esta razón, los métodos basados en grillas o UGOs (unidades operativas geográficas) no resultan adecuados dado lo arbitrario que entraña el uso de unidades predefinidas de análisis (celdas, áreas, etc.) para codificar las distribuciones. Para hacer más eficiente la utilización de la información disponible, el método NAM (Network Analisis Method) (Dos Santos *et al.*, 2008, 2012) permite, además de estudiar patrones de co-distribución desde la perspectiva de redes, usar la información original (localidades puntuales de colecta) sin someterlos previamente a artificios de distribución. Resumiendo, el presente trabajo procura comunicar aplicaciones de teoría de redes a través de dos ejemplos: (i) la red de co-autoría de sistemáticos implicados en la descripción de efímeras sudamericanas y (ii) la red de simpatría asociada a los datos distribucionales de dichas efímeras.

Materiales y métodos

Para la red de co-autoría, se elaboró una lista de publicaciones referidas a la descripción de especies de Ephemeroptera de América del Sur. A partir de dicha lista, se filtraron especies con status de válidas hasta fines de 2012. Se extrajeron los siguientes datos: autores por especie, año de publicación y origen de los autores. Se construyó una red de co-autoría donde dos autores quedan conectados a través de un enlace si los mismos comparten créditos en la descripción de especies válidas. Se asignó a cada enlace un peso proporcional a la frecuencia con la que el respectivo par de autores colabora en la descripción. (Domínguez & Dos Santos, in prep.). Una vez construida la red de co-autoría, se analizó en ella la formación de comunidades de investigación y

se estudió el grado de mezcla en su estructura de interrelaciones teniendo en cuenta la procedencia de los autores. La red de co-autoría fue procesada y visualizada a través del complemento para Excel NodeXL (Smith *et al.* 2010).

Para la red de simpatría, se compilaron registros geográficos de distribución a partir de las localidades de los ejemplares sudamericanos depositados en las Colecciones del Instituto-Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina y en el Museo de Entomología de la Universidad del Valle, Cali, Colombia. Sumado a ello, se recopilamos las localidades a partir de todas las publicaciones disponibles de Ephemeroptera, en las que las determinaciones fueran confiables y se encontraran a nivel de especie. Las que estaban disponibles como coordenadas fueron utilizadas directamente, y en los casos donde sólo se citaban nombres de localidades, se procedió a establecer sus coordenadas ubicándolas en el navegador de imágenes de Google Earth. Fueron descartadas aquellas localidades con referencias muy imprecisas, y en las que no fue posible una obtención confiable de sus coordenadas. Los patrones distribucionales fueron analizados con el paquete SyNet 2.0 (Dos Santos, 2012) disponible en <http://www.cran.r-project.org>, el cual corre sobre la plataforma R para análisis estadísticos e implementa el método NAM. Luego del estudio geográfico orientado a extraer grupos de especies co-distribuidos, se procedió a analizar el contenido filogenético de sus expresiones espaciales, cruzando esta información espacial con la de los nodos de las filogenias disponibles (Molineri *et al.* 2010).

Resultados y discusión

Sistemática. Se detectaron diferentes comunidades de investigación dentro de la red de co-autoría. Estas comunidades pueden explicarse principalmente por la especialidad y por la pertenencia de los autores. A lo largo del tiempo se verifica un pasaje de una red atomizada compuesta por autores publicando aisladamente, hacia una red en la que la mayoría de los autores quedan conectados en un único componente dominante. Según la procedencia de los autores, se pueden notar dos tendencias principales: autores que tienden a colaborar sólo con connacionales en oposición a otros que son más proclives a interactuar con autores de otras nacionalidades.

Biogeografía. El análisis de los datos geográficos vía NAM reveló diferentes unidades de co-distribución (grupos de especies endémicas y cohesivamente simpátricas entre sí, y simultáneamente alopátricas con otras) que ocupan diferentes áreas de América del Sur. Se seleccionaron las más representativas para mostrar sus características particulares, y luego se las contrastó con las filogenias disponibles para analizar la existencia de componentes históricos. Entre los resultados más conspicuos se pueden mencionar: 1) la naturaleza anidada y latitudinalmente sectorizada de los complejos distribucionales que se encuentran en Patagonia y

Noroeste de Argentina; 2) la progresión filogenética a lo largo del gradiente latitudinal sobre el eje andino; y 3) la relación vicariante entre taxones distribuidos en Amazonia y la Mata Atlántica.

Literatura citada

- DOMÍNGUEZ, E.; HUBBARD, M. D.; PESCADOR, M. L.; MOLINERI, C.; NIETO, C. 2011. Checklist of South American species of Ephemeroptera. <http://www.ephemeroptera-galactica.com/sacatdecember2012.pdf>
- DOMÍNGUEZ, E.; DOS SANTOS, D.A. In prep. Funding, author network interaction and publications: a case of study with South American Ephemeroptera (Insecta).
- DOS SANTOS, D.A. 2012. SyNet 2.0: An R package for analysis and inference of sympatry networks.
- DOS SANTOS, D. A.; FERNÁNDEZ, H. R.; CUEZZO, M. G., E. DOMÍNGUEZ. 2008. Sympatry Inference and Network Analysis in Biogeography. *Systematic Biology* 57: 432-448.
- DOS SANTOS, D. A.; CUEZZO, M. G.; REYNAGA, C.; DOMÍNGUEZ, E. 2012. Towards a Dynamic Analysis of Weighted Networks in Biogeography. *Systematic Biology* 61(2): 240-252.
- MOLINERI, C.; NIETO, C.; DOMÍNGUEZ E.; DOS SANTOS D.A. 2010. Biogeography of South American Ephemeroptera. Austral insect patterns: phylogenetics and biogeography of austral insects. VI Southern Connection Congress, San Carlos de Bariloche, Río Negro (Argentina): Universidad Nacional del Comahue.
- NEWMAN, M.E.J. 2010. Networks: An introduction. Oxford (UK). Oxford University Press. 772 p.
- SMITH, M.; MILIC-FRAYLING, N.; SHNEIDERMAN, B.; MENDES RODRIGUES, E.; LESKOVEC, J.; DUNNE, C. 2010. NodeXL: a free and open network overview, discovery and exploration add-in for Excel 2007/2010, <http://nodexl.codeplex.com/> from the Social Media Research Foundation, <http://www.smrfoundation.org>